

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.

1. Способ регулирования топливоподачи в ГТД. Патент США № 53035542 F02G9/26 от 16.11.1992г.
2. Постников А.М., Ярославцев В.Г. Способ регулирования подачи топлива в ГТД. Патент Российской Федерации № 2162953, F02G9/26 от 10.02.2001г. с приоритетом от 12.03.1997г.
3. Постников А.М. Снижение оксидов азота в выхлопных газах ГТУ. - Самара: Издательство Самарского научного центра РАН. – 2002 – 286 с.
4. Колп Д.А, Мёллер Д.И. Ввод в эксплуатацию первой в мире газотурбинной установки полного цикла STIG на базе газогенератора LM-5000. Современное машиностроение. Серия А. 1989, №1.

УДК 621.452.3.034

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ЦЕНТРАЛЬНОГО И ПЕРИФЕРИЙНОГО ПОТОКОВ ВОЗДУХА НА РАБОТУ СТРУЙНОЙ ПНЕВМАТИЧЕСКОЙ ФОРСУНКИ

Васильев А.Ю., Свириденков А.А., Ягодкин В.И.

Центральный институт авиационного моторостроения, г. Москва

Увеличение давления воздуха в ГТД при ограничении давления подачи топлива привело к модификации систем распыливания для обеспечения требуемых эмиссионных характеристик на всех режимах работы двигателя. В низконапорных системах подачи топлива возросла роль аэродинамики распыливания. Эффективность комбинированных форсунок, как оказалось, в основном зависит от правильного сочетания характеристик потоков топлива и воздуха. Это показано в работах по улучшению различных типов форсунок как центробежных [1], так и струйных пневматических. Предложенные модификации систем распыливания в первую очередь имели целью обеспечение условий запуска и малого газа при малом перепаде давлений топлива и воздуха.

Задачей работы было исследование влияния центрального и периферийного потоков воздуха на работу струйной пневматической форсунки ЦИАМ с целью обеспечения высокого качества распыливания

топлива на всех режимах работы двигателя, без увеличения давления его подачи и использования воздуха высокого давления.

Схема экспериментальной форсунки. В экспериментальной части работы использовалась модель форсунки, схема которой приведена на рисунке 1.

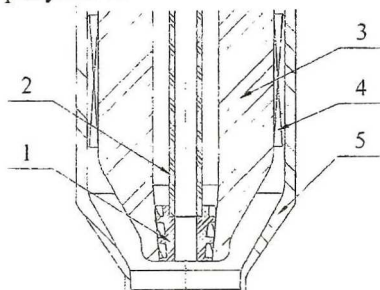


Рис.1. Схема форсунки

Как видно из рис.1 форсунка состоит из конического шпека 1 с центральным подводом воздуха 2 помещенными в топливную иглу 3 с расположенным на ней воздушным завихрителем 4 и корпусом 5 образующим сопло форсунки. Отметим, что в отличие от классической центробежной форсунки пленка топлива образуется в результате слияния закрученных струй на выходе из топливоздушного сопла.

На первом этапе испытаний была изготовлена модель передней части фронтального устройства, показанная на рис.2 (со вставленной в нее форсункой). С помощью этой модели было проверено влияние подвода воздуха на средний по сечению размер капель на расстояниях 10 мм – 50 мм от сопла. С ростом перепада давлений обдувочного воздуха, подаваемого отдельно от форсунки, от 5 до 25 кПа, наблюдалось улучшение распыливания, возможно, вследствие уменьшения коагуляции мелких капель. Было предположено, что аэрация факела, уменьшает коагуляцию мелких капель вблизи форсунки, где их концентрация очень велика. Здесь более детально исследовано это явление.

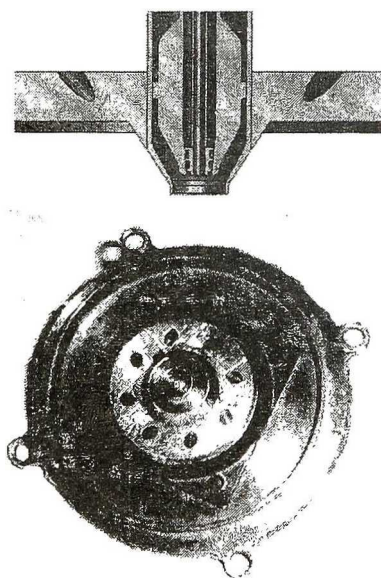


Рис. 2. Модель и фотография входной части фронтального устройства

Показанная ниже фотография модели входной части фронтального устройства (рис. 2) имеет трехмерный струйный смеситель. Задачей этого смесителя является обеднение горючей смеси с помощью струй воздуха, сталкивающихся с топливовоздушным факелом.

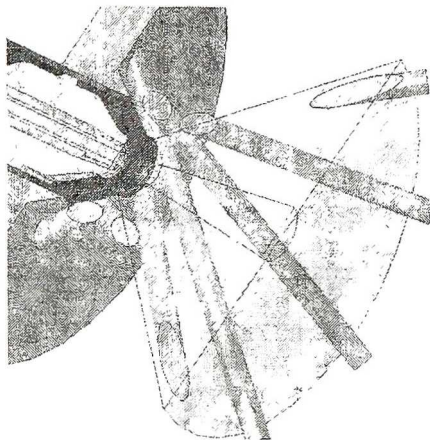


Рис. 3. Картина взаимодействия наклонных струй воздуха и факела распыленного топлива с осевым протоком воздуха

На втором этапе, для определения влияния физических свойств распыливаемых жидкостей, выполнены измерения размеров капель воды для тех же режимных параметров и на тех же расстояниях, что и на первом этапе.

На третьем этапе, с целью стабилизации угла факела и для большего обеднения горючей смеси на оси смесителя использован центральный проток воздуха без образования зоны рециркуляции на оси. Влияние этого воздуха в форсунке совместно с входным устройством (рис. 2), исследовалось при подаче воздуха вдоль оси шнека через отверстие диаметром 2 мм.

Приблизительная картина суммарного воздействия центральной и периферийных струй воздуха, пронизывающих топливовоздушный факел форсунки, показана на рис. 3.

Результаты исследований форсунки. Для решения поставленных на первом этапе задач, были проведены измерения параметров топливовоздушного факела на различных расстояниях от форсунки. Применяемое топливо – керосин ТС-1, данные приведены в табл. 1.

Результаты этих исследований для режима малого газа ($\Delta P_{FD} = 25$ кПа) показали, что внешний подвод воздуха наклонными струями уменьшает SMD для керосина от 25 мкм до 19 мкм при измерениях на расстоянии 30 мм от форсунки, причем, в первом случае (без внешнего подвода) размер капель растет с удалением сечения, а во втором изменяется слабо (от 17 мкм до 20 мкм).

Таблица 1. Результаты экспериментов

№	Y, mm*	ΔP_{ap} , kPa	ΔP_f , kPa	G_{ap} , g/s	G_f , g/s	AAFR	\overline{D}_{32} , μm	\overline{C}_v
1. Испытания форсунки с закрытыми отверстиями ФУ								
1	10	25	5	7,5	4,5	1,667	19	5,63
2	15	25	5	7,5	4,5	1,667	24	6,1
3	20	25	5	7,5	4,5	1,667	24	7,04
4	30	25	5	7,5	4,5	1,667	25	6,6
5	40	25	5	7,5	4,5	1,667	27	6,6
6	50	25	5	7,5	4,5	1,667	27	6,75
2. Испытания форсунки с открытыми отверстиями ФУ								
7	10	25	5	28	4,5	6,222	19	3,86
8	15	25	5	28	4,5	6,222	19	3,4
9	20	25	5	28	4,5	6,222	17	3,4
10	30	25	5	28	4,5	6,222	19	3,1
11	40	25	5	28	4,5	6,222	20	3,1
12	50	25	5	28	4,5	6,222	19	4,75

* - расстояние от сопла форсунки.

Для решения поставленных на втором этапе задач, были проведены измерения параметров факела распыла на различных расстояниях от форсунки. Распыливаемая жидкость – вода, данные приведены в табл. 2.

Таблица 2. Результаты экспериментов

№	Y, mm*	ΔP_{ap} , kPa	ΔP_f , kPa	G_{ap} , g/s	G_f , g/s	AAFR	\overline{D}_{32} , μm	\overline{C}_v
1. Испытания форсунки с закрытыми отверстиями ФУ								
1	10	25	5	7,5	4,5	1,667	50	8,8
2	15	25	5	7,5	4,5	1,667	43	5,9
3	20	25	5	7,5	4,5	1,667	41	5,7
4	30	25	5	7,5	4,5	1,667	38	4,6
5	40	25	5	7,5	4,5	1,667	46	5,5
6	50	25	5	7,5	4,5	1,667	48	4,8
2. Испытания форсунки с открытыми отверстиями ФУ								
7	15	25	5	28	4,5	6,222	52	5,7
8	20	25	5	28	4,5	6,222	42	3,6
9	30	25	5	28	4,5	6,222	41	3,9
10	50	25	5	28	4,5	6,222	42	3,5

* - расстояние от сопла форсунки.

Видно, что в случае распыливания воды эффект коагуляции капель выражен слабее ввиду того, что размеры капель в 1,8-2,0 раза больше чем при распыливании керосина.

На третьем этапе. был подключен внутренний подвод воздуха по оси шнека, который помогает создавать сплошной по оси факел распыливания. Результаты экспериментов на керосине ТС-1 приведены в таблице 3.

Таблица 3. Результаты экспериментов

№	Y, mm*	ΔP_{ap} , kPa	ΔP_f , kPa	ΔP_{ae} , kPa	G_{ap} , g/s	G_f , g/s	AAFR	\overline{D}_{32} , μm	\overline{C}_v
1	30	25	5	55	28	4,5	6,222	21	4,2
2	30	25	5	35	28	4,5	6,222	18	3,54
3	30	25	5	25	28	4,5	6,222	14	2,1
4	15	25	5	25	28	4,5	6,222	13	3,12

* - расстояние от сопла форсунки.

На рис. 4 представлены распределения размеров в зависимости: от

расстояния до сопла форсунки; от наличия обдувочного воздуха и от распыливаемой жидкости.

Из таблицы 3 и рисунка 5 видно, что при дополнительной подаче воздуха по оси шнека наблюдается локальное уменьшение SMD для керосина (на расстоянии 30мм от форсунки) до 15мкм при $\Delta P_0 \approx \Delta P_{FD} = 25$ кПа, отклонение от этого значения ΔP_0 возвращает SMD к исходному значению ≈ 20 мкм. Последний эффект может быть связан с влиянием донного давления шнека на устойчи-

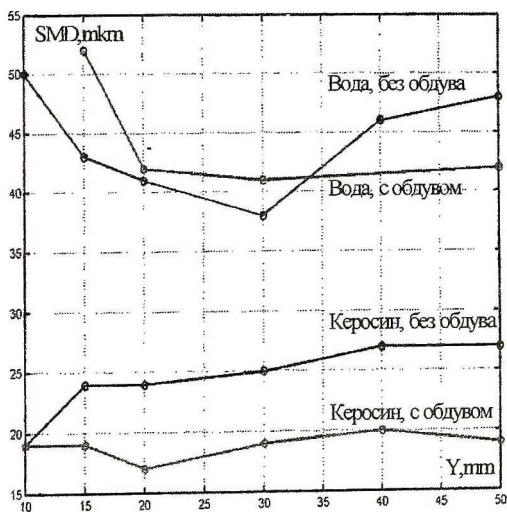


Рис. 4. Влияние обдува факела керосина струями воздуха на размеры капель и сравнение с факелом воды на различных расстояниях от форсунки

вость истечения струй топлива, что изменяет их положение у выхода из сопла форсунки.

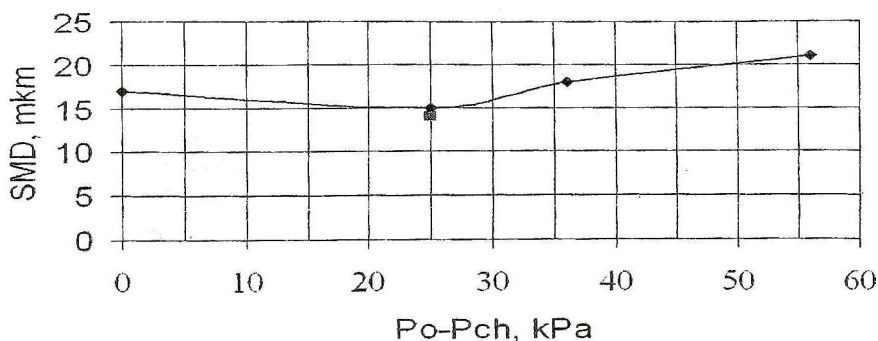


Рис. 5. Зависимость SMD от разности давлений на входе воздуха в центральный канал и завихритель форсунки

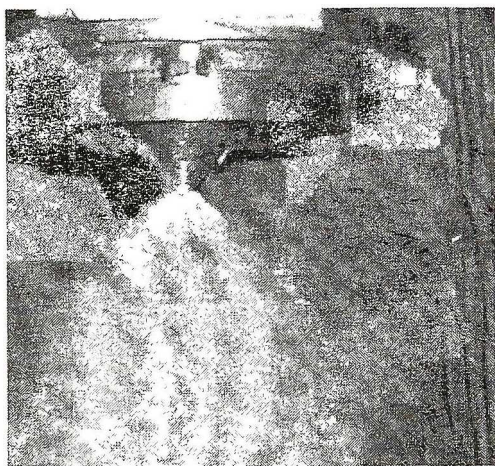


Рис. 6. Фотоснимок разреза факела световой плоскостью от двухцветного импульсного лазера на расстоянии 30 мм от форсунки при съемке под углом 20° снизу. Керосин с флуоресцирующим красителем и вид факела при обдуве воздухом и освещении вспышкой. Сечение измерения SMD красный луч (30 мм)

Фотоснимки топливно-воздушного факела показаны на рис. 6. В этом варианте форсунки можно видеть, что и размеры капель, и их концентрация становятся равномерными.

Можно предположить, что улучшение распыливания связано с отсутствием зоны обратных токов на оси факела, так как в принципе такие зоны нестабильны.

Стабилизация потоков жидкости и газа сохраняет оптимальные условия настройки форсунок.

Графики осредненных значений C_v и SMD , измеренных малоугловым методом с использованием прибора ЛИД ЦИАМ приведены на рисунках 7 и 8.

Заключение. В результате испытаний форсуночных модулей камер сгорания двигателей типа НК [1], а также струйной пневматической

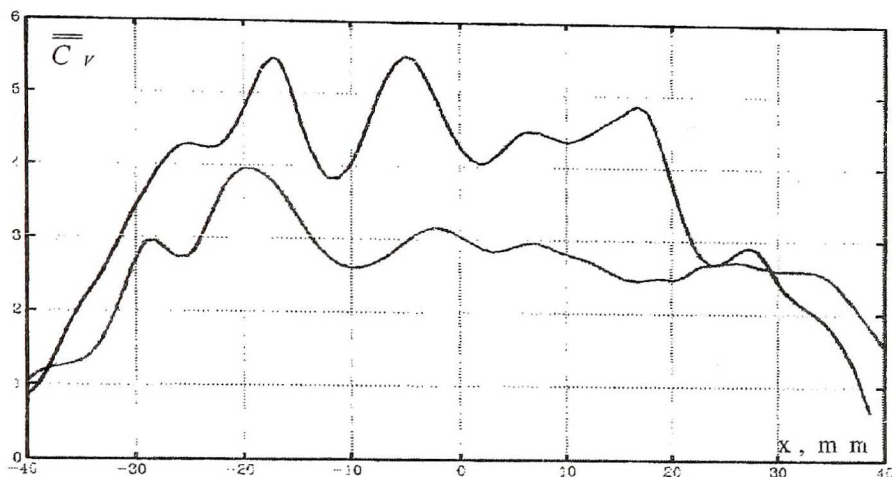


Рис. 7. Распределение объемной концентрации топлива по нормальному сечению факела ($\gamma = 30$ мм, $\Delta P_{FD} = 25$ кПа, $G_f = 5.0$ г/с). Красная (нижняя) кривая при вдуве центральной струи воздуха

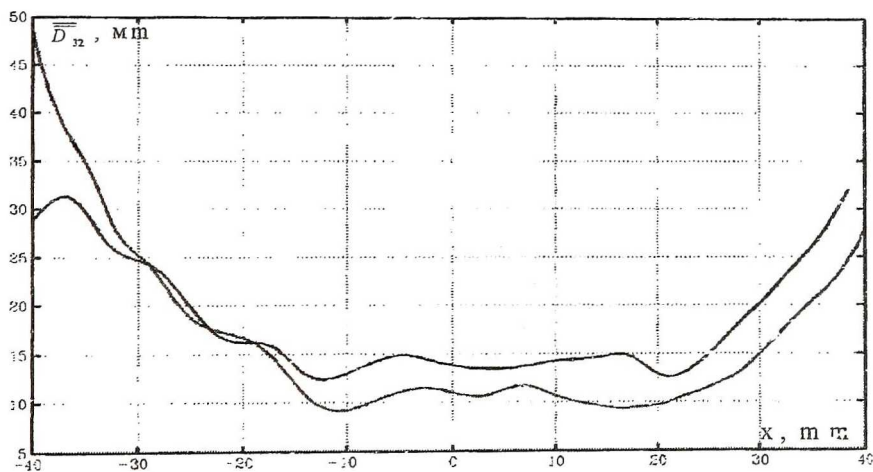


Рис. 8. Распределение SMD, осредненного по хордам факела в том же сечении

форсунки со струйным фронтальным устройством были установлены общие закономерности, различия и принципы их эффективной работы.

1. На основе лазерной визуализации двухфазного потока на выходе из форсунки и форсуночного модуля дано следующее физическое объяснение полученных характеристик. Изменение угла топливного факела

внутри модуля при изменении давления подачи топлива приводит к изменениям формы пленки и ее последующему дроблению в тонком слое закрученного потока воздуха. В зависимости от доли и размера капель, попадающих на стенку, можно получить на выходе модуля капли больших или меньших размеров.

2. В результате анализа экспериментальных данных о работе низконапорных форсунок различного типа подтверждены следующие принципы достижения оптимального распыливания топлива: это необходимость

- согласования потоков топлива и воздуха по направлению подачи;
- отсутствия попадания топлива на стенки смесителя;
- отсутствия колебаний скорости и давления топлива и воздуха;
- уменьшения коагуляции капель на выходе из форсунки.

Принципы эффективного распыливания в наибольшей мере реализуются в струйных пневматических форсунках вследствие лучшей реализуемости стабильного истечения потока топлива и его сочетания с течением воздуха.

3. Сравнение двух типов распыливания показало их различия. Главное из них - это следствие влияния типа пленки: односвязный или многосвязный. Если вытекающая пленка - неразрывна, то она более подвержена влиянию перепада давления воздуха при изменениях режима работы форсунки. Стабилизация возможна только в узком диапазоне этих изменений (например, вблизи малого газа). В случае струйной подачи топлива возможно сохранить автомодельность течений в более широком диапазоне.

4. Выполненные исследования различных типов форсунок показали, что даже на режимах малого газа можно получать топливовоздушные факела со средним заутеровским диаметром капель топлива менее 20 мкм и с равномерным распределением концентрации топлива по сечениям факела.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Исследование распыла топлива и смесобразования в головной части камеры сгорания двигателей типа «НКО»./ Васильев А.Ю., Майорова А.И., Свириденков А.А., Третьяков В.В., Ягодкин В.И. // Вест. СГАУ. Сер.: Процессы горения, теплообмена и экология тепловых двигателей. Вып.4; Самар. гос. техн.ун-т, 2002 г. №2(2), с. 10-14.